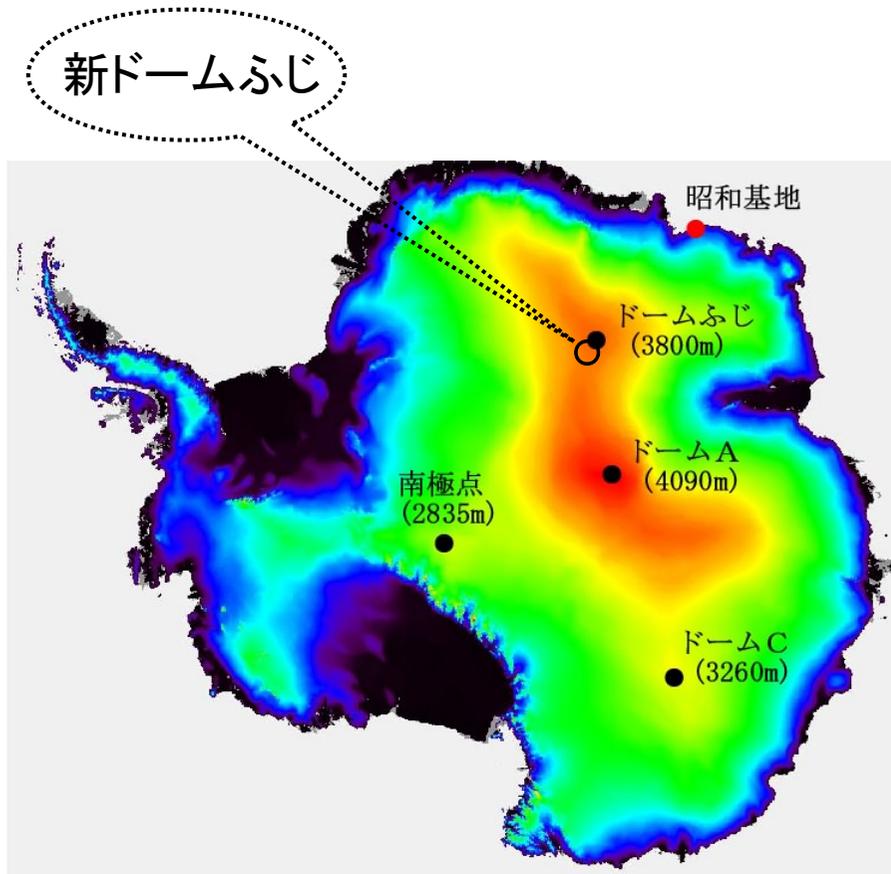


テラヘルツ銀河の探査

中井直正 (筑波大学)

筑波大学、東北大学、国立極地研究所、他



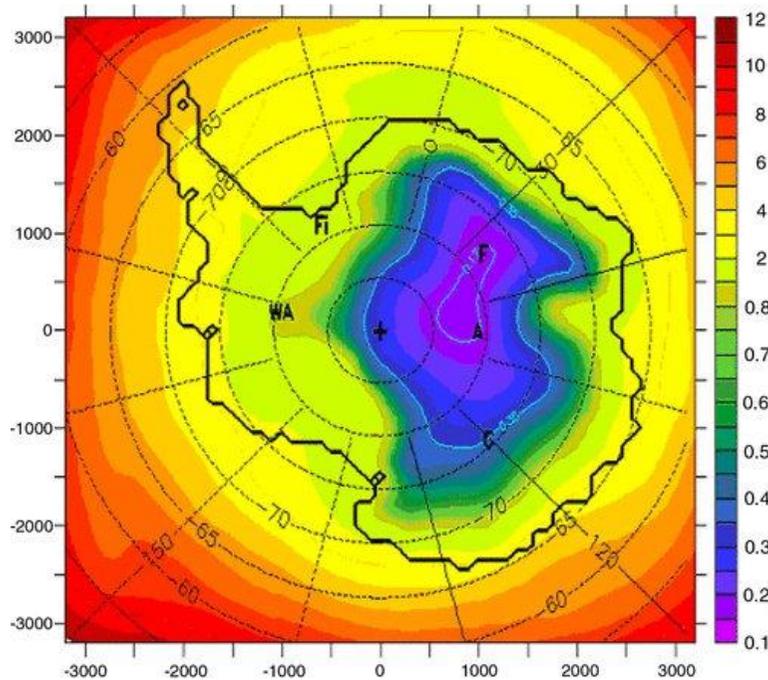
口径10mテラヘルツ望遠鏡
+ 超伝導電波カメラ



南天掃天観測
⇒ High-z 銀河の探査

水蒸気量(PWV)

(W. Saunders, et al. 2009 PASP 121, 976)



Precipitable Water (mm w.e., JJA 2004)

衛星のデータから推定

TABLE 4
PWV QUANTILES FROM THE MHS SENSOR, FOR 2008
(DATA IN MICRONS)

	SP	DC	DA	RA	DB	DF
Annual median	437	342	233	210	274	279
Winter median	324	235	141	118	163	163
Winter 25%	258	146	103	77	115	114
Winter 10%	203	113	71	45	83	90
Winter σ	133	122	65	64	67	98

NOTE.—Winter refers to days 120–300.

(μm)

新ドームふじ基地 ~ ドームA

新ドームふじ基地
水蒸気量~10%低

冬期

(H.Yang, et al. 2010 PASP 122, 490)

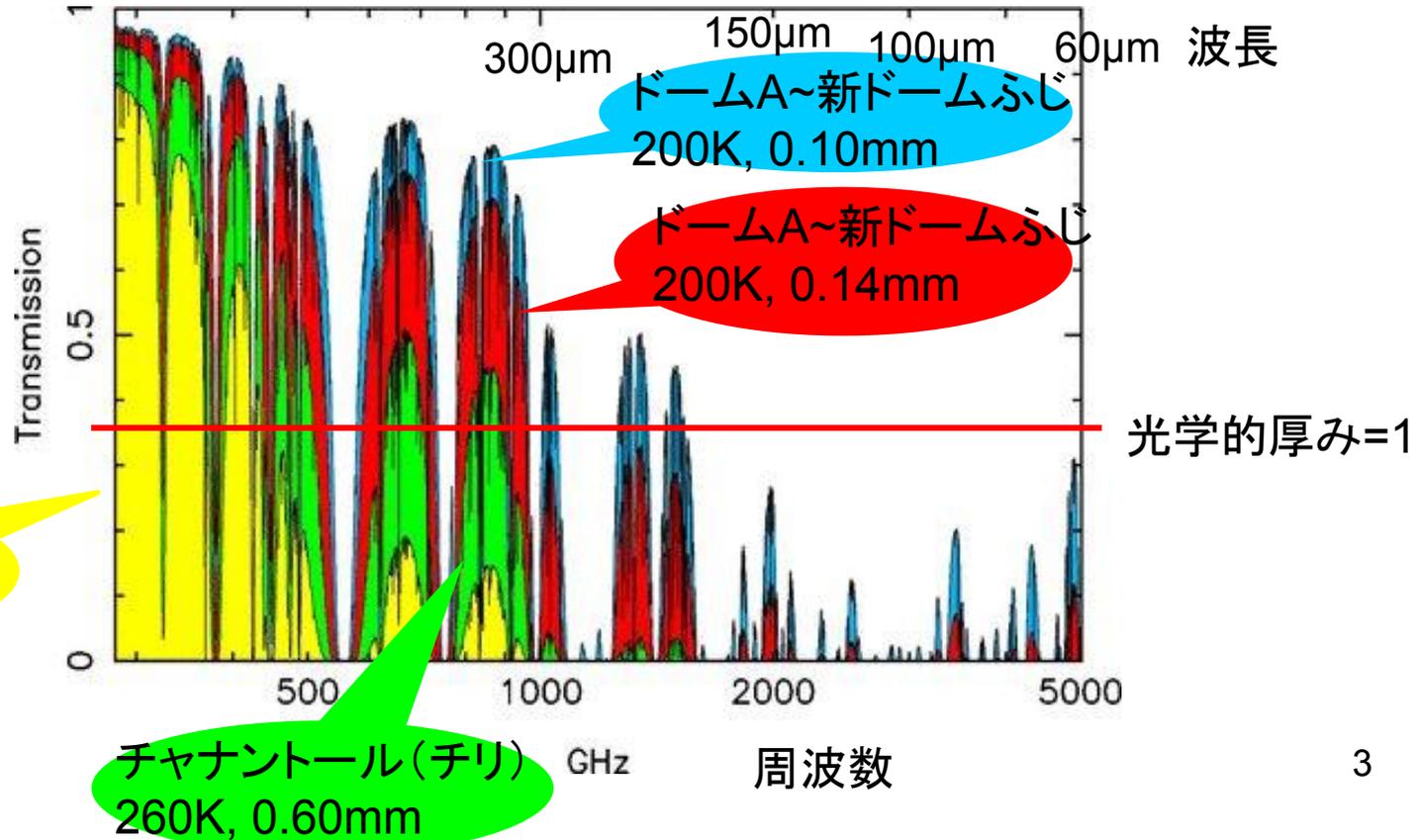
TABLE 1 COMPARISON OF TERAHERTZ TRANSMISSION AT DIFFERENT OBSERVATORY SITES

Site ^a	25%ile PWV (mm)	50%ile PWV (mm)	Median winter transmission, 660 GHz	Best 25% winter transmission, 1460 GHz	Best 10% winter transmission, 1900 GHz
Dome A, 4100 m ~ 新Dome Fuji	0.10	0.14	74%	28%	4%
Ridge A, 4050 m	0.08	0.12	77%	33%	11%
Dome C, 3250 m	0.15	0.24	60%	13%	<1%
South Pole, 2850 m	0.23	0.32	52%	6%	0%
Chajnantor ^b , 5050 m	0.35	0.60	47%	7%	0%
Mauna Kea ^c , 4100 m	1.0	1.5	15%	0%	0%

^aRidge A and Dome C water vapor estimates made from MHS/NOAA-18 soundings in 2008. South Pole water vapor statistics come from daily radiosonde data in 2008. The Chajnantor plain (ALMA site) and Mauna Kea (CSO tipper) values are typical water vapor distributions from the literature as indicated.

^bDelgado et al. 1999.

^cHogg 1992



大気安定度(1)

220 GHz@ドームふじ 実測: 2006,09年夏季

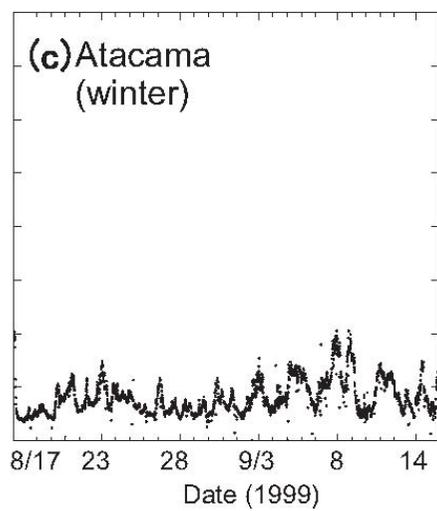
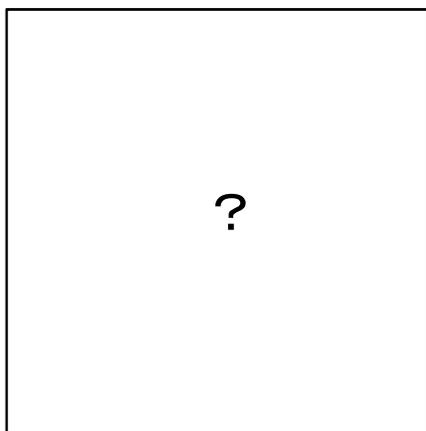
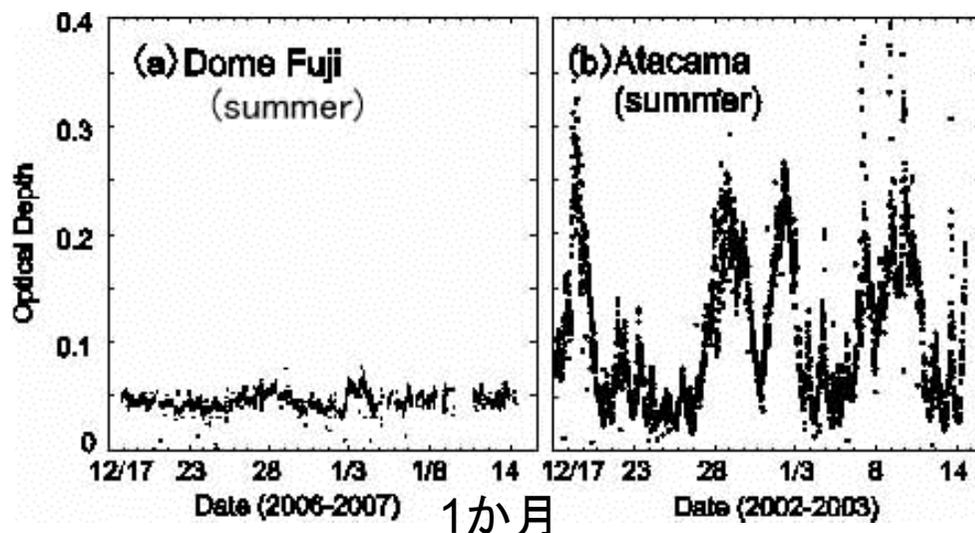


ドームふじ基地で測定中のラジオメータ

夏季

ドームふじ チリ(アタカマ 5000m)

光学的厚み



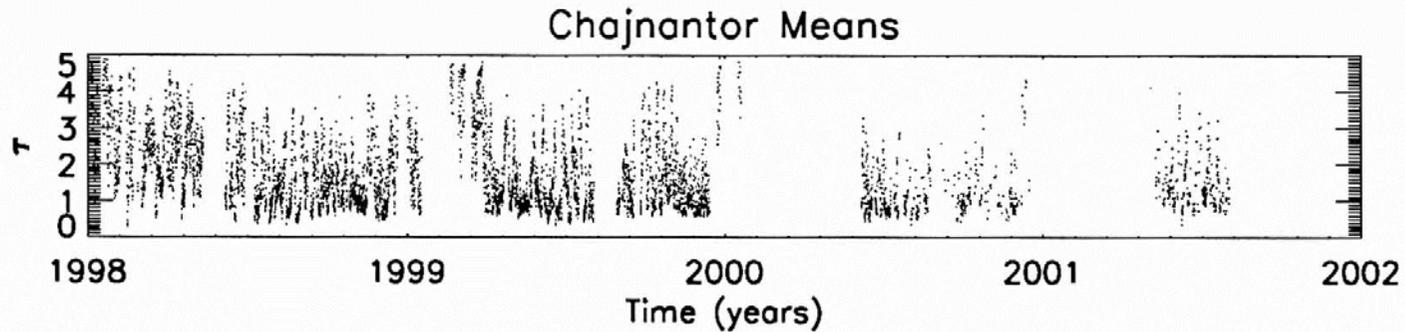
冬季

大気の安定度(1)

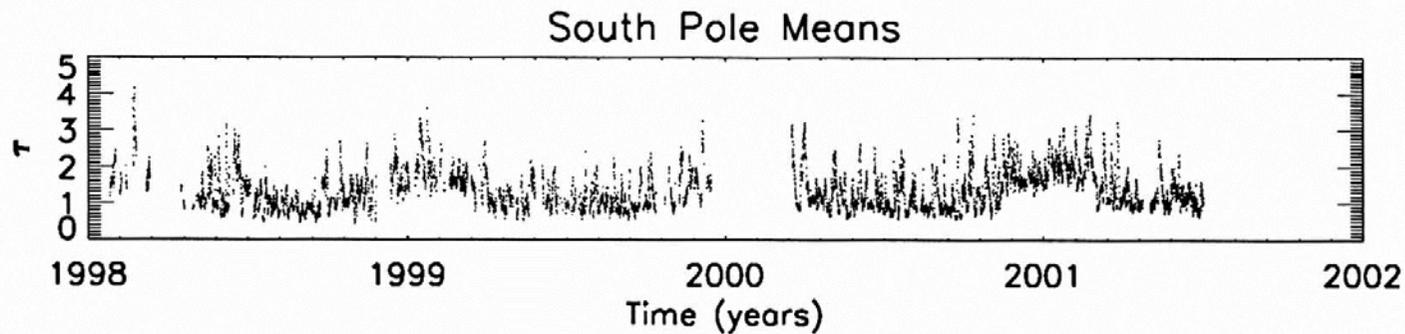
860 GHz = 350 μm @南極点

(Peterson etc 2003 PASP 115, 383)

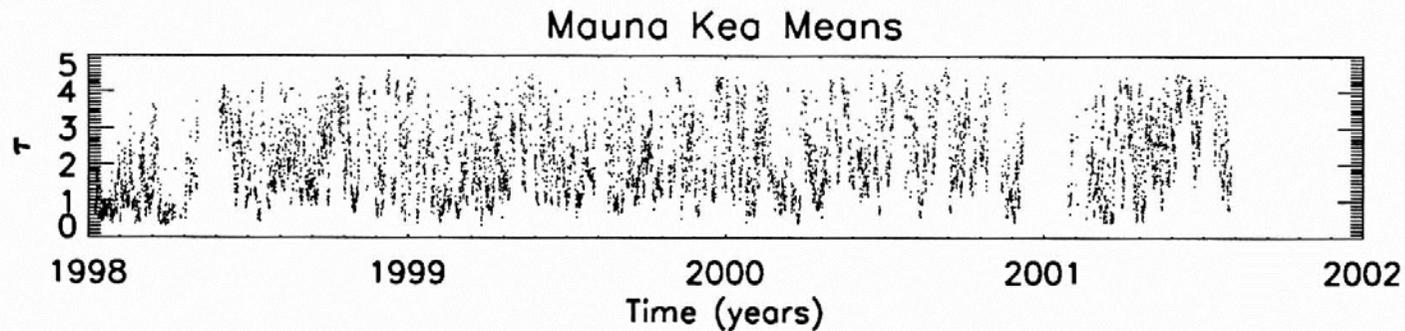
↑
光学的厚み



チリ
ALMAサイト
(5000 m)



南極点
(2840 m)

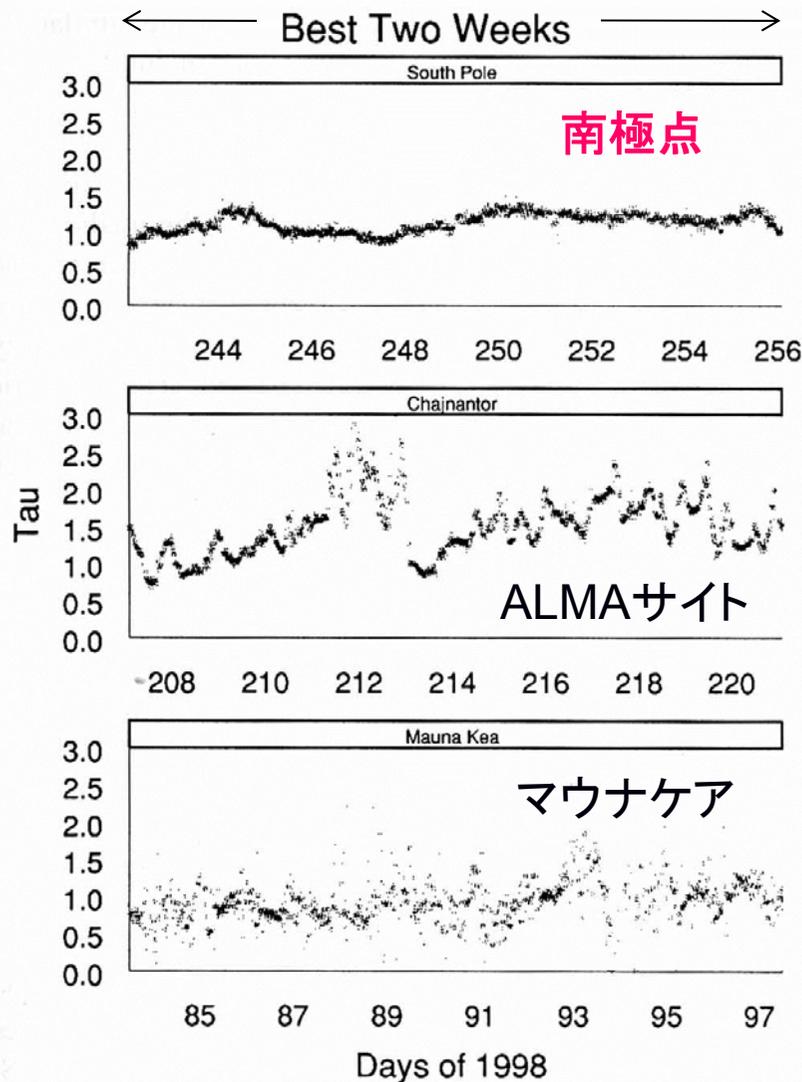


ハワイ
マウナケア
(4000 m)

大気の安定度(3)

860 GHz = 350 μm @南極点

(Peterson etc 2003 PASP 115, 383)



大気の安定度： 抜群に良い

→特に

- ・連続波観測(ミリ波、サブミリ波でも)
- ・干渉計観測

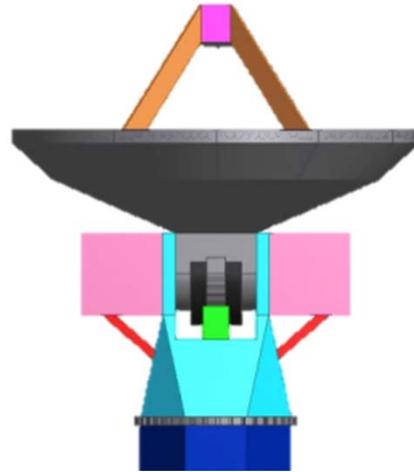
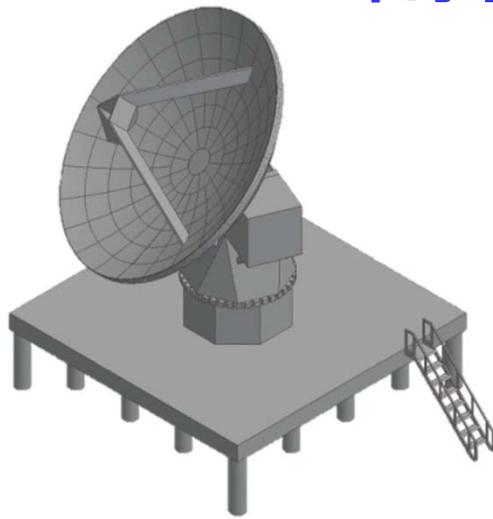
に有効

cf. チリ、マウナケア

「サブミリ波銀河」?

実態はミリ波 0.8mm(350GHz)~2mm

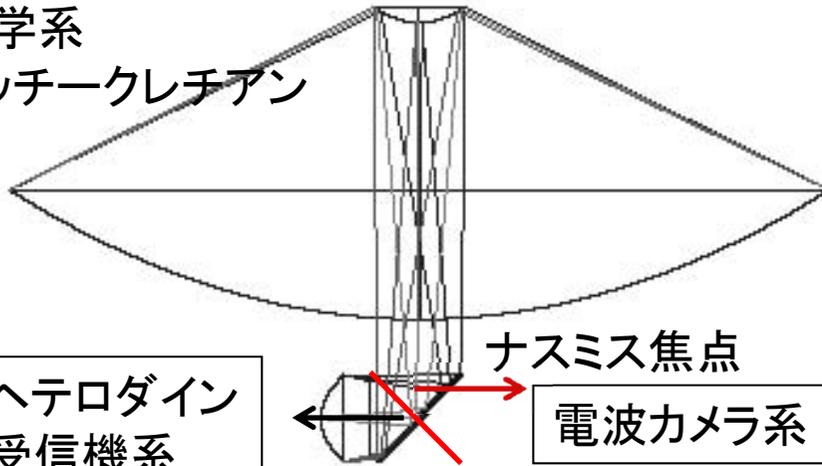
南極10mテラヘルツ望遠鏡



10 m



光学系
リッチークレチアン



ヘテロダイ
受信機系

ナスミス焦点

電波カメラ系

角分解能

$$\theta = 1.2 \lambda / D$$

0.41 THz	0.85 THz	1.5 THz
18"	8.7"	5.0"

指向性

絶対指向性	2"
追尾精度	0.5"

電波カメラ(超伝導共振器MKIDカメラ)

現計画

- ・3バンド／同時観測／クライオスタット(Φ20cm × 3 in Φ90cm) (関本、他 (国立天文台))
- ・1000画素(410GHz), 3000画素(850GHz), 4000画素(1.5THz)
- ・視野～0.17平方度

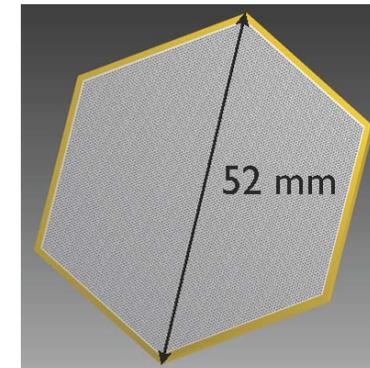
$$NEP \approx 5 \times 10^{-18} \text{ W Hz}^{-1/2}$$

将来計画(別予算)

- ・10万画素／バンド
- ・視野～1平方度

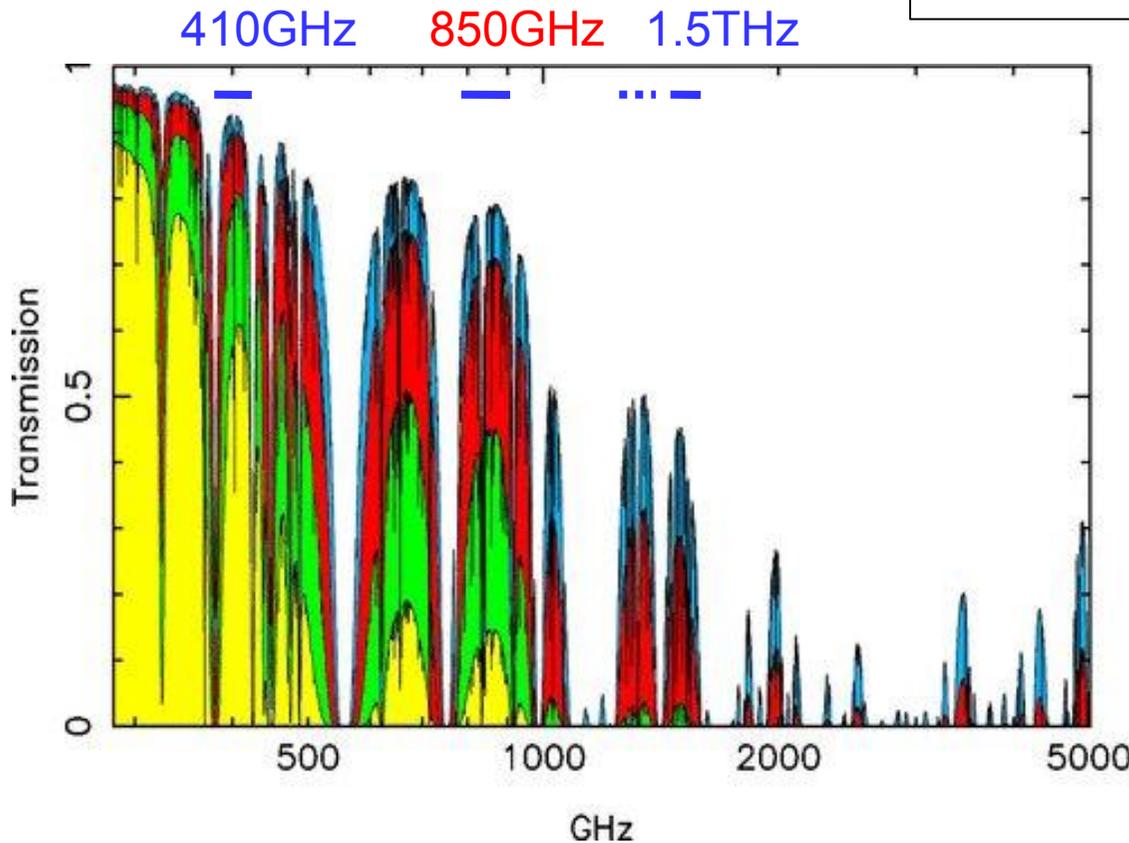
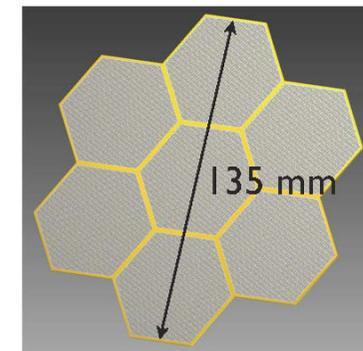
850GHz(350μm)の例

* 1 モジュール (10267素子)

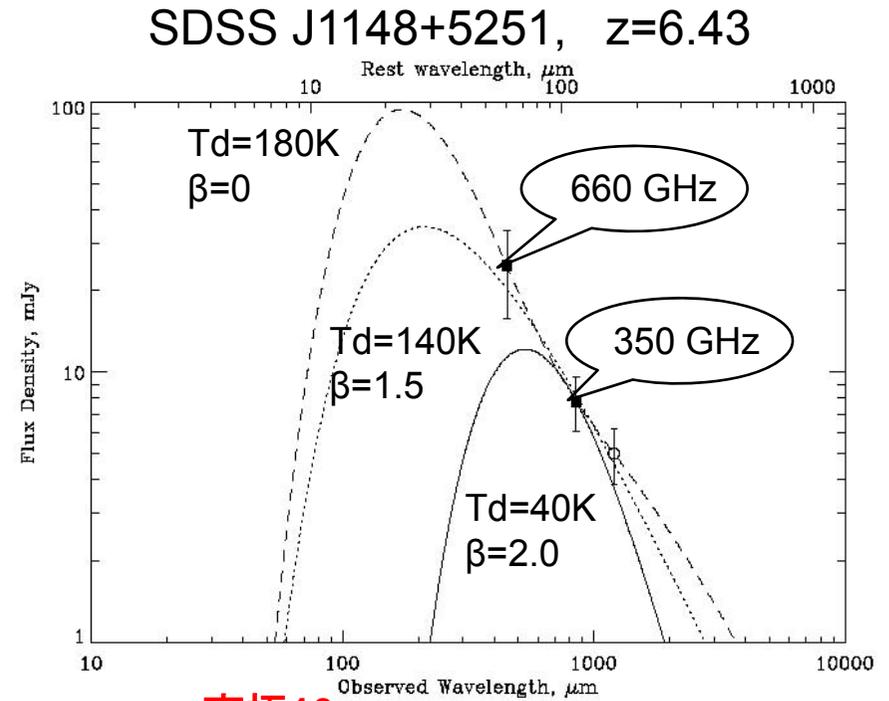
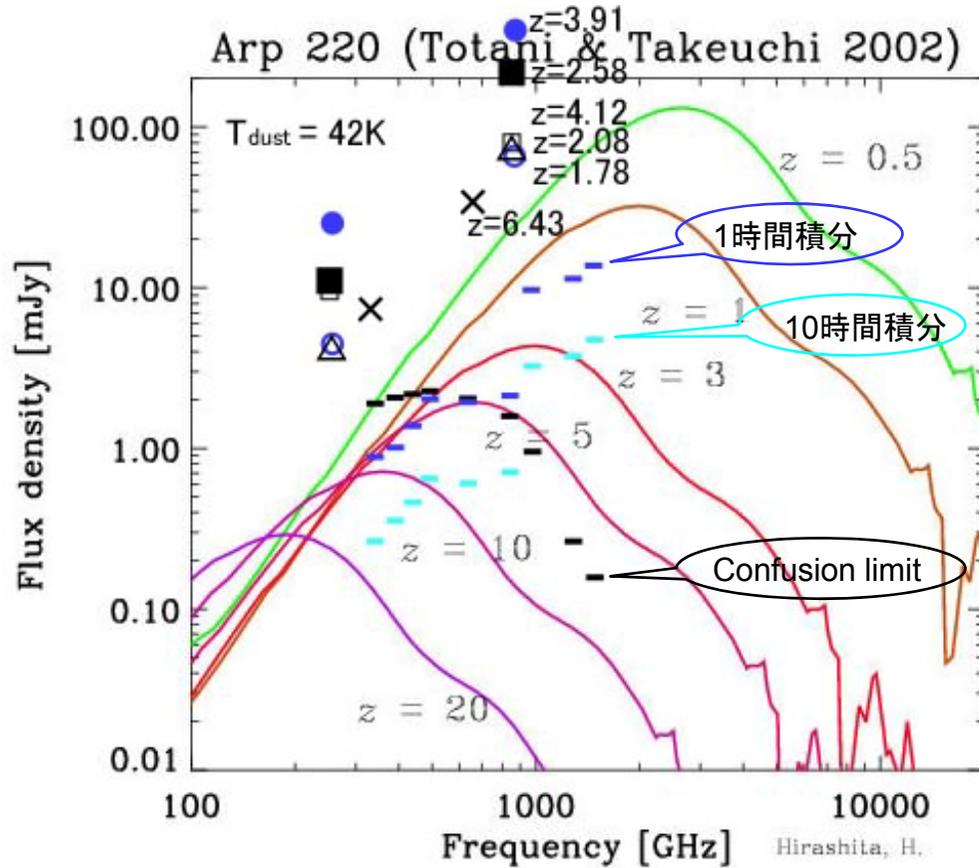


レンズ直径 : 0.36 mm

* 7 モジュール (71869素子)



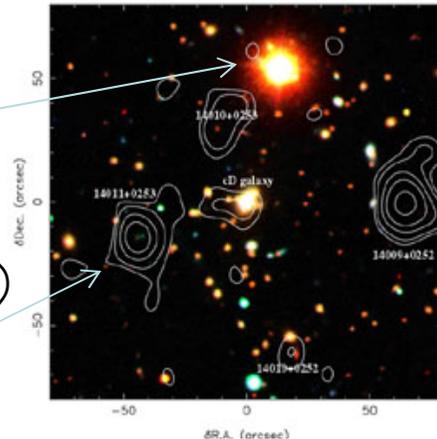
南天全面掃天観測 (深宇宙銀河サーベイ)



南極10m ↔ 南極2.5m ↔ CCAT25m/Chile

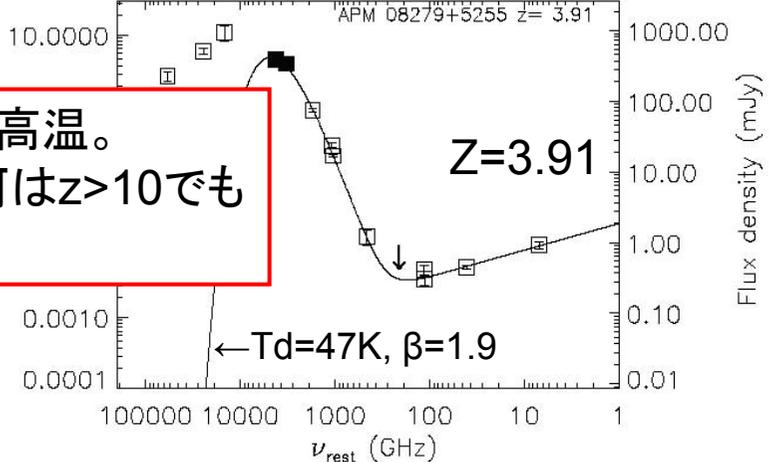
可視光写真
 $Z=0.25$

サブミリ波
(350GHz=0.85mm)
 $Z=2.56$

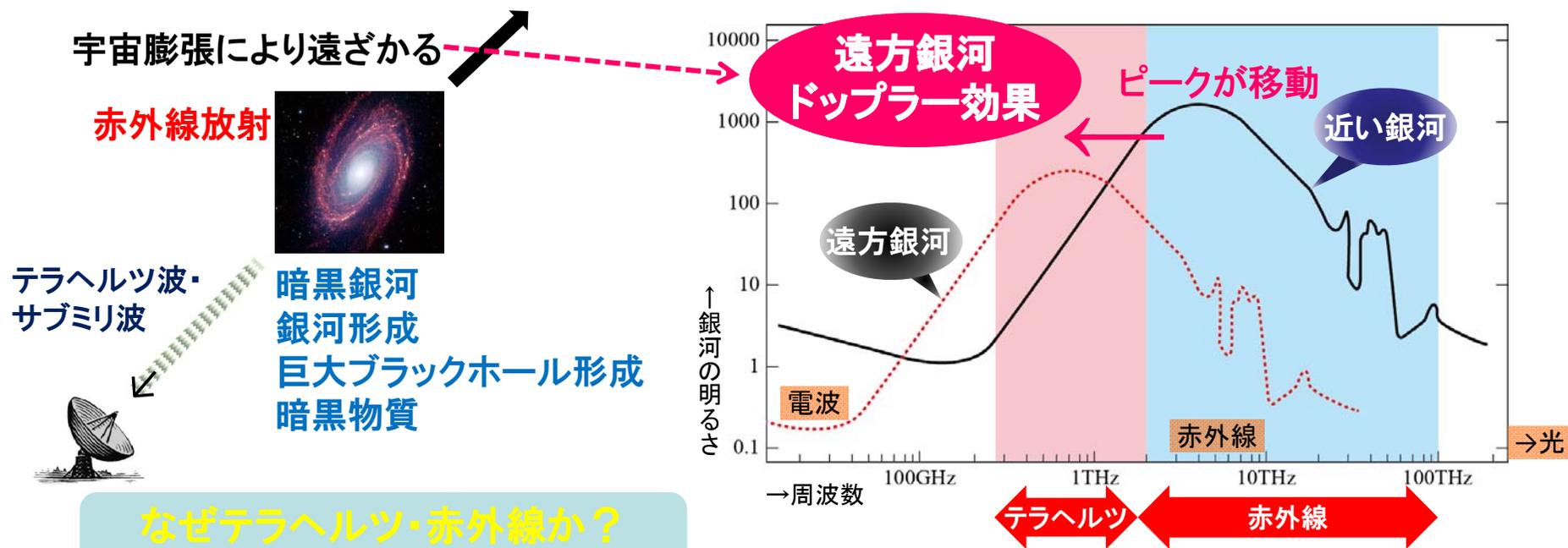


$Z>4$ の銀河は高温。
 $T_d \sim 100K$ 銀河は $z>10$ でも
観測可能。

SCUBA
 $\theta = 14''$



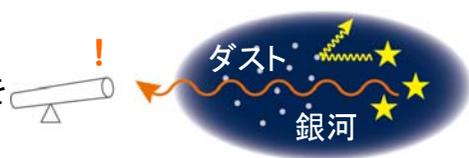
テラヘルツ・赤外線観測による暗黒銀河の探査



なぜテラヘルツ・赤外線か？

①波長が長い

銀河内の固体微粒子(ダスト)をすり抜けて銀河の外へ出る。



②銀河は赤外線で最も明るい

宇宙膨張に乗って遠ざかっている遠方銀河から放射された赤外線は、ドップラー効果で地上ではテラヘルツとなる。

●「暗黒銀河」探索には、テラヘルツで観測するのがベスト

●テラヘルツ＋赤外線でスペクトルを決定

・ピークの移動量：銀河の距離を決定

・赤外線で銀河の性質(形状、星の形成率など)を決定

しかし

大気中の水蒸気に吸収されて地上では観測できなかつた

南天全体の暗黒銀河のサーベイ

南天全体

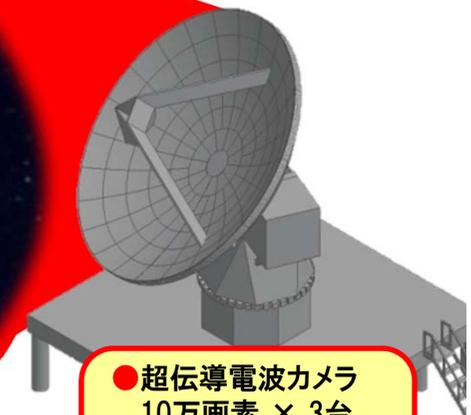
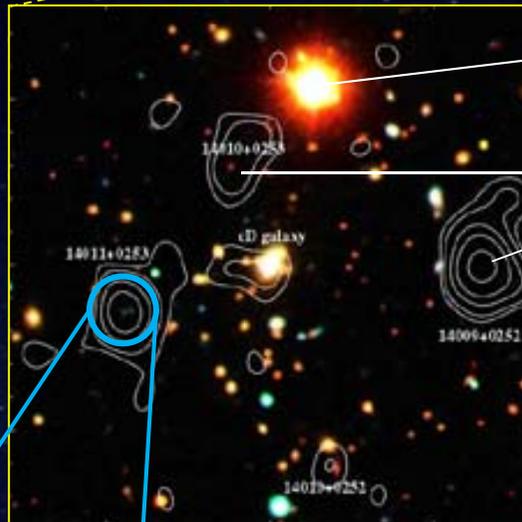
南極テラヘルツ望遠鏡

発見!

①南天全体から暗黒銀河を発見

拡大

光学写真



- 超伝導電波カメラ
10万画素 × 3台
:世界最大
- 超広視野
サーベイが得意

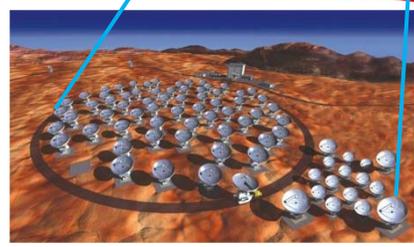
- 赤外線カメラ
400万画素 × 3台
:世界最高水準

南極赤外線望遠鏡

②スペクトル決定

- ・銀河の距離
- ・銀河の性質

アルマ望遠鏡(チリ)、
すばる、TMTなど
③発見した暗黒銀河の
詳しい内部構造を調べる



アルマ望遠鏡(チリ): 超高感度、
超高角分解能。しかし視野が限定

まとめ

南極10mテラヘルツ望遠鏡＋超伝導電波カメラ

850GHz (main), 410GHz, 1.5THz
5 σ (1h積分)~2.2 mJy @ 850GHz

深宇宙銀河探査

Arp 220 クラス ($T_d \sim 40\text{K}$, $L = 10^{12} L_o$) $\Rightarrow z \leq 5$
高温ダスト銀河 ($T_d > 100\text{K}$, $L = 10^{12} L_o$) $\Rightarrow z > 10$

南天掃天観測

- ・最初1年 …… 浅く南天全体観測
- ・南天全体(1時間積分/1度四方同時) …… 正味~2年
実質~4-5年